

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 078 638

21 N° d'enregistrement national : 18 51983

51 Int Cl⁸ : B 03 C 3/88 (2018.01)

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 07.03.18.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 13.09.19 Bulletin 19/37.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : UNIVERSITE DE POITIERS Etablissement public — FR et CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public — FR.

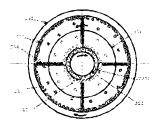
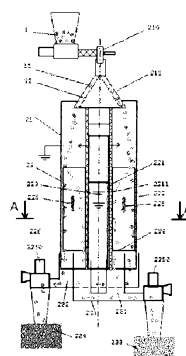
72 Inventeur(s) : DASCALESCU LUCIEN, ZEGHLOUL THAMI et MEDLES KARIM.

73 Titulaire(s) : UNIVERSITE DE POITIERS Etablissement public, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public.

74 Mandataire(s) : NOVAGRAAF TECHNOLOGIES.

54 PROCEDE ET DISPOSITIF DE SEPARATION ELECTROSTATIQUE DE MATERIAUX GRANULAIRES.

57 La présente invention a pour objet un procédé et un dispositif de séparation électrostatique de mélanges granulaires de taille millimétrique ou sous-millimétrique composés des particules non-conductrices (11a, 11b) ou de particules non-conductrices (11) ou conductrices (12) utilisant simultanément le champ électrique E, la force aérodynamique et la pesanteur. Ces forces s'exercent sur des particules (11, 11a, 11b, 12) préalablement chargées dans un champ électrique E intense généré par une tension continue appliquée à deux cylindres coaxiaux 221, 222 constituant des électrodes. Un système de nettoyage mécanique détache les particules 11a et 11b ou 11 et 12 de la surface des électrodes 221, 222, et facilite leur récupération dans un système collecteur 23, sous l'action d'aspirateurs de type cyclone, de manière que le nettoyage des électrodes et la collecte des particules séparées soient réalisés en continu.



FR 3 078 638 - A1



PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE SÉPARATION ÉLECTROSTATIQUE DE MATÉRIAUX GRANULAIRES

Domaine technique

5

La présente invention concerne de manière générale un procédé permettant le tri de mélanges de matériaux granulaires ayant des caractéristiques électriques différentes (plusieurs non-conducteurs ou plusieurs conducteurs et non-conducteurs) en utilisant les forces du champ électrique, les forces aérodynamiques et la pesanteur. La présente invention concerne également un dispositif permettant la mise en œuvre d'un tel procédé.

Le procédé selon l'invention s'applique en particulier à la séparation de matériaux granulaires de taille millimétrique et sous-millimétriques (typiquement des particules dont le diamètre équivalent est compris entre 125 μm et 2 mm), dans les industries du recyclage, minière, pharmaceutique et agro-alimentaire.

20

État de la technique

Les techniques de séparation électrostatique des mélanges de matériaux non-conducteurs granulaires de tailles moyennes supérieures à 1 mm ont connu des développements significatifs ces deux dernières décennies et sont largement utilisées dans l'industrie.

Par contre, à l'heure actuelle, la séparation des particules plus fines s'avère plus compliquée à mettre en œuvre, à cause des perturbations induites par les forces aérodynamiques, dont les effets sur les particules micronisées (de taille inférieure à 500 μm) dépassent ceux induits par les forces électriques.

Les séparateurs électrostatiques à tambour sont la solution de choix pour le traitement des mélanges de matériaux conducteurs et non-conducteurs granulaires de taille millimétrique. Ils sont également utilisés pour la séparation
5 de mélanges sous-millimétriques, notamment pour le traitement des minerais. Toutefois, les débits de matériaux à traiter sont faibles, les particules devant être dispersées pour former une monocouche à la surface du tambour.

Par ailleurs, il est connu de l'homme de l'art d'utiliser
10 des séparateurs tribo-électrostatiques à chute libre pour le tri des mélanges de matériaux granulaires non-conducteurs de taille plus élevée (typiquement de 1 à 8 mm). Ces séparateurs comportent un dispositif qui fait appel à l'effet triboélectrique pour charger les matériaux granulaires, avant
15 de les laisser tomber à travers une zone de champ électrique intense, créé entre deux électrodes verticales reliées à deux générateurs de haute tension de polarités opposées. Ces séparateurs ne sont pas aptes à traiter des particules de tailles sous-millimétriques, car les forces aérodynamiques
20 et/ou d'adhésion aux électrodes seraient trop importantes et limiteraient fortement l'action du champ électrique.

Dans d'autres séparateurs tribo-électrostatiques industriels connus de l'homme de l'art, les particules chargées soit par effet triboélectrique soit par décharge
25 couronne sont déposées en monocouche à la surface d'un convoyeur à bande métallique liée à la terre. Le tri de ces particules s'effectue dans le champ électrique créé entre cette bande métallique et une électrode cylindrique, liée à une alimentation haute tension et située en dessus du
30 convoyeur. Ce type de séparateur est également utilisé pour le tri des mélanges granulaires de tailles sous-millimétriques (typiquement de 0,25 à 1 mm), mais uniquement en conditions de laboratoire car la productivité en terme de

tri d'un tel type de séparateur est limitée par la contrainte de déposer les particules en monocouche à la surface de l'électrode bande.

Enfin, des solutions spécifiques ont récemment été développées pour le traitement de certains mélanges granulaires de matériaux non-conducteurs de tailles sous-millimétriques.

Ainsi, dans un séparateur tribo-électrostatique utilisable dans l'industrie agro-alimentaire^{[1],[2]}, les particules se chargent par frottement en traversant un tube métallique sous l'action de l'air comprimé, avant de passer, toujours dans un flux d'air rigoureusement contrôlé, dans un champ électrique créé entre deux électrodes verticales alimentées par une source de haute tension. Les particules collectées aux deux électrodes sont aspirées dans des collecteurs de type cyclone. Un tel séparateur nécessite le nettoyage périodique des électrodes, ce qui le rend non-utilisable en régime de fonctionnement continu, dans un contexte industriel.

Dans d'autres modèles de séparateurs, définis comme "tribo-aéro-électrostatiques"^{[3],[4]}, la charge des particules se produit dans un lit fluidisé, en présence d'un champ électrique produit entre deux électrodes-disques tournants^{[5],[6]}, entre deux électrodes cylindriques tournantes^[7], ou entre deux électrodes-plaques métalliques^[8], exécutant des mouvements de va-et-vient en direction verticale, tout en étant connectées à deux alimentations de polarités opposées. Les particules adhèrent aux électrodes de polarités opposées, qui les évacuent vers les collecteurs. Ces installations ont été utilisées en conditions de laboratoire, en régime intermittent, imposé par la nécessité de récupérer les particules restées non-séparées dans le lit fluidisé. Les perspectives d'utilisation industrielle de ces installations

sont limitées aussi par la difficulté d'assurer l'étanchéité de la chambre de fluidisation.

Description de l'invention

5

Pour résoudre les défauts et inconvénients précités, le déposant a mis au point un procédé et un dispositif de séparation électrostatique utilisant simultanément des forces du champ électrique, aérodynamiques et de la pesanteur qui s'exercent sur des particules chargées dans un champ électrique intense généré par tension continue de plusieurs milliers de volts (typiquement supérieures à 5 kV et inférieures à 120 kV) appliquée à deux cylindres verticaux coaxiaux, fixes ou tournants. Le mélange granulaire à séparer, constitué de particules issues de plusieurs matériaux non-conducteurs ou de plusieurs matériaux conducteurs et non-conducteurs, doit être préalablement chargé dans des dispositifs de charge (par décharge couronne, par induction électrostatique ou par effet triboélectrique). Les particules chargées sont ensuite transférées en continu par un flux d'air descendant et par la force de la pesanteur dans le champ électrique créé entre les deux électrodes cylindriques coaxiales. Attirées par les électrodes de polarités opposées, les particules adhèrent à la surface de celles-ci. Un système mécanique de nettoyage (brosses ou racleurs), fixe, si les cylindres tournent, ou mobile dans le cas contraire, détache les particules de la surface des électrodes et facilite leur aspiration dans des collecteurs de type cyclone. Ainsi, grâce au dispositif et au procédé de séparation électrostatique selon l'invention, le nettoyage des électrodes et la collecte des produits peuvent être réalisés en continu, dans une installation étanche, permettant le traitement des mélanges

10
15
20
25
30

granulaires de taille millimétrique ou sous-millimétrique. Plus particulièrement, la présente invention a pour objet un procédé de séparation électrostatique d'un matériau granulaire comprenant des particules (pouvant être de matériaux de différentes natures) présentant un diamètre équivalent compris entre 125 μm et 2 mm, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- A. introduction à débit constant dudit matériau granulaire dans un dispositif de charge permettant de charger lesdites particules en fonction de leur nature ; puis charge desdites particules ;
- B. génération d'un champ électrique E entre deux électrodes cylindriques coaxiales verticales d'axe OZ disposées dans une chambre de séparation, l'intensité de E variant entre 1 kV/cm et 10 kV/cm,
- les deux électrodes cylindriques se décomposant en une électrode cylindrique intérieure de diamètre extérieur d_{ie} d'axe et une électrode cylindrique extérieure de diamètre intérieur d_{ei} ,
 - lesdites électrodes cylindriques étant connectées à un générateur de haute tension continue (c'est-à-dire typiquement supérieure à 5 kV et inférieure à 120 kV) de polarité positive ou négative l'une desdites électrodes étant reliée à la borne positive dudit générateur et l'autre desdites électrodes étant reliée à sa borne négative ;
 - de manière à créer une zone de champ électrique ayant la forme d'une nappe cylindrique d'épaisseur e (typiquement de

l'ordre de 40 mm à 160 mm) répondant à la formule (1):

$$(1) \quad e = (d_{ei} - d_{ie}) / 2 ;$$

5

C. génération, par aspiration, dans ladite zone de champ électrique, d'un flux d'air vertical descendant perpendiculaire à la direction du champ électrique E et dont l'effet combiné à celui de la gravité permet le transfert en continu desdites particules une fois chargées à travers ladite zone de champ électrique ;

10

D. déplacement desdites particules chargées lorsqu'elles se trouvent dans ladite zone de champ électrique vers les électrodes de polarités opposées pour y adhérer ;

15

E. détachement en continu, à l'aide des moyens mécaniques de nettoyage (par exemples des brosses ou des racleurs souples) de la surface des électrodes, desdites particules adhérant à la surface des électrodes, lesdits moyens mécaniques de nettoyage étant mobiles en rotation autour de l'axe central vertical OZ des électrodes) et lesdites électrodes étant fixes, ou inversement (en d'autres termes, les électrodes sont mobiles en rotation autour de leur axe OZ tandis que les moyens mécaniques de nettoyage sont fixes) ;

20

25

F. évacuation en continu desdites particules détachées, sous l'action conjuguée de la pesanteur et dudit flux d'air vertical ; puis

30

G. récupération desdites particules.

Selon un premier mode de réalisation du procédé selon l'invention (illustré sur la Figure 1), le matériau granulaire

que l'on cherche à séparer peut ne comprendre que des particules non-conductrices d'électricité. Dans ce cas, la charge des particules pourra être réalisée par effet triboélectrique dans un chargeur tribo-électrique communiquant avec la chambre de séparation via un répartiteur cône.

Selon un deuxième mode de réalisation du procédé selon l'invention (illustré sur la Figure 2), le matériau granulaire que l'on cherche à séparer peut comprendre un mélange de particules non conductrices de l'électricité et de particules conductrices. Dans ce cas, la charge des particules pourra être réalisée dans un chargeur à effet couronne situé en amont desdites électrodes. L'effet de couronne se produit au voisinage d'électrodes de faible rayon de courbure (pointes), soumises à la tension continue élevée générée par le générateur de tension, dès que le champ électrique E à leur surface dites électrodes devient suffisamment grand (environ 30 kV/cm), pour que l'air s'ionise et forme autour une couronne lumineuse.

De manière avantageuse, les particules à séparer peuvent présenter un diamètre compris entre 0,125 mm et 2 mm.

De manière avantageuse, l'intensité du champ électrique E intense pourra être comprise entre 4 kV/cm et 5 kV/cm.

De manière avantageuse, les particules une fois chargées à l'issue de l'étape A du procédé selon l'invention sont introduites dans la zone de champ électrique sous la forme d'une nappe cylindrique d'épaisseur comprise entre 1 et 5 mm, selon la taille des particules composant le mélange à traiter.

De manière avantageuse, l'étape de récupération F) des particules à séparer peut être réalisée dans un système collecteur, lesdites particules étant récupérées dans des compartiments intermédiaires du système collecteur, lesdits compartiments intermédiaires étant cylindriques, coaxiaux

avec les électrodes et chacune connectées à un aspirateur - cyclone.

De manière avantageuse, le procédé selon l'invention pourra comprendre en outre une étape de transfert des particules à séparer des compartiments intermédiaires vers des compartiments terminaux du système collecteur, à travers les aspirateurs-cyclones.

La présente invention a encore pour objet un dispositif de séparation électrostatique permettant la mise en œuvre du procédé selon l'invention. Plus particulièrement, la présente invention a pour objet un dispositif de séparation électrostatique d'un matériau granulaire comprenant des particules présentant un diamètre compris entre 125 μm et 2 mm, le dispositif comprenant :

- 15 • un dispositif pour charger les particules à séparer;
- une chambre de séparation comprenant deux électrodes cylindriques coaxiales verticales d'axe OZ se décomposant en
 - 20 - une électrode cylindrique intérieure de diamètre extérieur d_{ie} et une électrode cylindrique extérieure de diamètre intérieur d_{ei} ,
 - les électrodes cylindriques étant connectées à un générateur de haute tension continue, l'une des électrodes étant reliée à la borne positive dudit
 - 25 générateur et l'autre des électrodes étant reliée à sa borne négative, de manière à pouvoir générer un champ électrique E,
- des moyens de production par aspiration, dans la chambre de séparation, un flux d'air vertical
- 30 descendant perpendiculaire à la direction du champ électrique E,
- des moyens mécaniques de nettoyage de la surface des électrodes, les moyens mécaniques de nettoyage étant

mobiles en rotation autour de l'axe OZ et les électrodes étant fixes ou inversement (c'est-à-dire, en d'autres termes, les électrodes sont mobiles en rotation autour de l'axe OZ tandis que les moyens
5 mécaniques de nettoyage sont fixes);

- un dispositif de récupération des particules.

Le matériau granulaire destiné à être séparé dans le dispositif selon l'invention est tel que défini précédemment.

Selon un premier mode de réalisation du dispositif de
10 séparation électrostatique selon l'invention, le dispositif de charge pourra être avantageusement un chargeur tribo-électrique communiquant avec la chambre de séparation via un répartiteur à cône.

Selon un deuxième mode de réalisation du dispositif de
15 séparation électrostatique selon l'invention, le dispositif de charge pourra être avantageusement un chargeur à effet couronne situé dans la chambre de séparation en amont des électrodes, l'alimentation en matière dudit dispositif de charge étant réalisée via un répartiteur à cône.

20 A titre de moyens mécaniques de nettoyage de la surface des électrodes, on peut utiliser, dans le dispositif de séparation électrostatique selon l'invention, des brosses ou des racleurs.

De manière avantageuse, les moyens de production de flux
25 d'air vertical descendant peuvent être des aspirateurs de type cyclone, permettant en outre la récupération desdites particules dans le système collecteur.

De manière avantageuse, le dispositif de récupération des particules peut être un système collecteur de produits
30 comprenant :

- deux compartiments intermédiaires cylindriques, coaxiaux avec le système d'électrodes et connectés aux aspirateurs-cyclones;

- deux compartiments terminaux, vers lesquels les particules sont transférées depuis les compartiments intermédiaires, à travers lesdits aspirateurs-cyclones.

5

De manière avantageuse, le dispositif de séparation électrostatique selon l'invention peut en outre comprendre, en amont du dispositif de charge un doseur de matériau granulaire apte à en contrôler le débit.

10

D'autres avantages et particularités de la présente invention résulteront de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux figures annexées :

15

- la figure 1A représente une vue schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de séparation électrostatique selon l'invention conformément au premier mode de réalisation (avec chargeur tribo-électrique) ; la figure 1B est une vue schématique en coupe selon l'axe A-A du dispositif illustré sur la

20

- la figure 2A représente une vue schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de séparation électrostatique selon l'invention conformément au deuxième mode de réalisation (avec chargeur à effet couronne) ; la figure 2B est une vue schématique en coupe selon l'axe A-A du dispositif illustré sur la

25

- la figure 3 représente une vue schématique en coupe d'un doseur à vis pour contrôler le débit de matériau granulaire dans le dispositif de charge ;

30

- la figure 4 représente une vue schématique en coupe d'un dispositif cyclone-collecteur comprenant un

aspirateur de type cyclone et un compartiment pour collecter les particules ;

- 5 - la figure 5 est une photographie montrant un prototype rudimentaire du séparateur selon l'invention (sans système de nettoyage des électrodes, ni système d'aspiration, avec des électrodes fixes), qui a été mis en œuvre dans l'exemple 1 pour tester le principe de séparation électrostatique mis en œuvre dans le procédé selon l'invention ;
- 10 - la figure 6 comprend trois photographies montrant le résultat de la séparation électrostatique d'un mélange de particules comprenant 50% de particules d'ABS (poly(acrylonitrile/butadiène/styrène) et 50% de particules de PC (polycarbonate), cette séparation étant réalisée avec le prototype de la figure 5 : la
15 figure 6a montre les particules ABS et PP initiales (avant mélange, puis séparation) ; la figure 6b) montre les particules récupérées sur l'électrode extérieure 222 ; et la figure 6c) montre
20 les particules récupérées sur l'électrode intérieure 221 (cf. exemple 1) ;
- la figure 7 comprend également trois photographies montrant le résultat de la séparation électrostatique d'un mélange de particules comprenant 50% de
25 particules de PP (polypropylène) et 50% de particules de PC (polycarbonate) de 125 μm de diamètre, cette séparation étant réalisée avec le prototype de la figure 5 : la figure 7a montre les particules de PP et de PC initiales (avant mélange, puis séparation) ;
30 la figure 7b) montre les particules récupérées sur l'électrode extérieure 222 ; et la figure 7c) montre les particules récupérées sur l'électrode intérieure 221 (cf. exemple 2) ;

- la figure 8 comprend une photographie montrant un séparateur 3 tribo-aéro-électrostatique à disques électrodes connu de l'art antérieur (photographie de gauche) et les résultats de la séparation (photographie de droite) d'un mélange de particules comprenant 50% de particules de PP et 50% de particules de PC (cf. exemple 3) ;
- la figure 9 comprend une photographie montrant un séparateur 4 à chute libre connu de l'art antérieur et les résultats de la séparation d'un mélange de particules comprenant 50% de particules d'ABS et 50% de particules de PC (cf. exemple 4).

Les figures 1 à 4 sont décrites plus en détail au niveau des modes de réalisation du dispositif de séparation selon l'invention qui illustrent l'invention sans en limiter la portée. Sur ces figures, les éléments identiques représentés par des références numériques identiques.

Les figures 5 à 9 sont décrites plus en détail au niveau des exemples qui suivent, mettant en œuvre les séparateurs illustrés sur les figures 5, 8 et 9.

En référence aux figures 1 et 2, un dispositif de séparation électrostatique d'un matériau granulaire 1 selon l'invention comprend :

- un dispositif 21 pour charger les particules 11 et 12 à séparer du matériau granulaire 1 ;
- une chambre de séparation 22 comprenant deux électrodes cylindriques 221, 222 coaxiales verticales d'axe OZ ;
- des moyens d'aspiration 2250 de type cyclone (dont les détails sont visibles sur la figure 4 uniquement) qui créent dans la chambre de séparation 22 un flux d'air vertical descendant 225,

- des moyens mécaniques de nettoyage 226 de la surface des électrodes 221, 222 (par exemple des brosses ou des racleurs), ces moyens mécaniques de nettoyage 226 étant mobiles en rotation autour de l'axe Oz et les électrodes 221, 222 étant fixes ou inversement;
- un système collecteur 23 comprenant deux des compartiments intermédiaires 231 et 232, cylindriques et coaxiaux aux électrodes cylindriques 221, 222, et deux compartiments finaux 233 et 234, pour récupérer respectivement les particules 11 et 12) à séparer.

Dans les deux modes de réalisation illustrés sur les figures 1 et 2, les aspirateurs-cyclones 2250 permettent en outre le transfert des particules 11 et 12 collectées dans les compartiments intermédiaires 231 et 232 vers les compartiments finaux 233 et 234.

Le système d'électrodes cylindriques 221, 222 coaxiales verticales d'axe Oz se décompose comme suit :

- une électrode cylindrique intérieure 221 de diamètre extérieur d_{ie} , et
- une électrode cylindrique extérieure 222 de diamètre intérieur d_{ei} .

Chacune des électrodes cylindriques 221, 222 est connectée à un générateur de haute tension continue, l'une étant reliée à la borne positive dudit générateur et l'autre étant reliée à sa borne négative, de manière à pouvoir générer un champ électrique E, qui est perpendiculaire au flux d'air vertical 225 descendant généré par les aspirateurs cyclones 2250.

La figure 1 montre plus particulièrement un premier mode de réalisation du dispositif de séparation électrostatique selon l'invention dans lequel le dispositif de charge 21 est un chargeur tribo-électrique 21 (par exemple à vibrations, à

lit fluidisé ou à cylindre tournant) communiquant avec la chambre de séparation 22 via un répartiteur à cône 212. Le dispositif de séparation de la figure 1 comprend en outre, en amont du chargeur tribo-électrique 21, un doseur à vis 210
5 pour contrôler le débit de matériau granulaire 1 dans le chargeur 21.

La séparation du matériau granulaire 1 est réalisée comme suit à l'aide du dispositif de séparation de la figure 1, qui est configuré pour séparer un mélange granulaire de particules
10 non-conductrices 11a et 11b de différentes natures :

- deux cylindres métalliques coaxiaux 221, 222 (électrodes) fixes ou entraînés dans le même sens par des moteurs électriques (non visibles sur les figures 1 à 4), à des vitesses modérées de quelques dizaines de
15 tours par minute ;
- les deux cylindres 221, 222 sont reliés à générateur de haute tension, créant ainsi une zone de champ électrique E intense ;
- le mélange granulaire 1 à séparer est alimenté d'abord,
20 par le doseur à vis 210, dans le chargeur triboélectrique 21 ;
- les particules chargées 11a et 11b sont ensuite transférées en continu par un flux d'air et par la force de la pesanteur dans le champ électrique créé entre les
25 deux électrodes cylindriques coaxiales. Attirées par les électrodes de polarités opposées, les particules 11a et 11b respectivement chargées positivement négativement adhèrent à la surface de celles-ci ;
- un répartiteur à cône 212 est connecté à la sortie du
30 chargeur triboélectrique 21 sert à introduire en continu les particules chargées 11a et 11b dans l'espace entre les deux électrodes cylindriques 221, 222, où règne un champ électrique. Ce transfert est facilité par un flux

d'air descendant généré par l'aspirateur-cyclone 2250 et la force de la pesanteur ;

- attirées par les électrodes 221, 222 de polarités opposées, les particules 11a et 11b adhèrent à la surface de celles-ci ;
- des moyens de nettoyage 226 fixes permettent ensuite de les détacher des électrodes 221, 222 et de les récupérer dans deux compartiments 231 et 232 du système collecteur de produit 23. Si les électrodes 221, 222 sont tournantes, dans ce cas, les moyens de nettoyage sont immobiles ;

Ainsi, le nettoyage des électrodes 221, 222 et la collecte des particules 11a et 11b une fois séparées sont réalisés en continu, dans une installation étanche, permettant le traitement de mélanges granulaires 1 de taille millimétrique et sous-millimétrique.

La figure 2 montre plus particulièrement un deuxième mode de réalisation du dispositif de séparation électrostatique selon l'invention dans lequel le dispositif de charge 21 est un chargeur à effet couronne situé dans la chambre de séparation 22 en amont des électrodes 221, 222. Le dispositif de séparation de la figure 2 comprend en outre, en amont de la chambre de séparation 22, un doseur à vis 210 et un répartiteur à cône 211 communiquant avec le chargeur à effet couronne 21, le doseur à vis 210 permettant de contrôler le débit de matériau granulaire 1 dans le chargeur 21.

La séparation du matériau granulaire 1 est réalisée comme suit à l'aide du dispositif de séparation de la figure 2, qui est configuré pour séparer un mélange granulaire de particules non-conductrices 11 et de particules conductrices 12 :

- deux cylindres métalliques coaxiaux 221, 222 (électrodes) fixes ou entraînés dans le même sens par des moteurs électriques (non visibles sur les figures 1

à 4), à des vitesses modérées de quelques dizaines de tours par minute ;

- les deux cylindres 221, 222 sont reliés à générateur de haute tension, créant ainsi une zone de champ électrique E intense ;
5
- le mélange granulaire 1 à séparer est alimenté d'abord, par le doseur à vis 210, puis via le répartiteur à cône 212 dans la chambre de séparation 22, dans une zone de champ électrique à décharge couronne, créée entre une série de pointes métalliques portées à tension élevée et l'électrode cylindrique extérieure 222, liée à la terre ;
10
- les particules non-conductrices 11, chargées par le « bombardement ionique » généré par la décharge couronne, sont attirée par l'électrode cylindrique extérieure 222, liée à la terre, est restent collées à celle-ci ;
15
- les particules conductrices 12 se chargent dans un premier temps de la même façon mais, en contact avec l'électrode 22 liée à la terre, se déchargent et se chargent tout de suite (par induction électrostatique) à une polarité opposée. Elles sont attirées ensuite par l'électrode cylindrique intérieure 221. Celle-ci est couverte d'une couche non-conductrice 2211, qui empêche le contact entre les particules 12 et l'électrode, ainsi que le déchargement voir le changement de polarité desdites particules ;
20
25
- de même que pour le dispositif de la figure 1, un des moyens de nettoyage 226, associés à des aspirateurs de type cyclone 2250, permettent de collecter d'une façon distincte les particules attachées aux deux électrodes 221, 222.
30

EXEMPLESÉquipements

- 5 - prototype du séparateur selon l'invention illustré sur la figure 5 ; il est alimenté par une goulotte oscillante de 50 mm de largeur qui permet un débit de 4 g/s. Dans le cas où l'alimentation en matière se ferait par un cône répartiteur de circonférence 500 mm, le débit serait de
- 10 40 g/s = 2400 g/min = 144 kg/h. Pour des particules de taille 0,125 à 0,25 mm, le débit se réduirait à moins de 38 kg/h. Ces débits sont bien évidemment à mettre en rapport avec les dimensions des électrodes cylindriques.
- séparateur tribo-aéro-électrostatique 3 à disques
- 15 électrodes illustré sur la figure 8 ;
- séparateur 4 à chute libre illustré sur la figure 9.

Produits

- 20 - mélange de particules comprenant 50% de particules de PP (polypropylène) et 50% de particules de PC (polycarbonate) de 125 μm de diamètre ;
- mélange de particules comprenant 50% de particules d'ABS (poly(acrylonitrile/butadiène/styrène) et 50% de
- 25 particules de PC.

EXEMPLE 1

La figure 6 montre les résultats de la séparation d'un mélange

30 composé de 50% ABS et 50% PC. Le mélange a été chargé dans un système à vibration et a ensuite été introduit dans le séparateur par une goulotte oscillante. La pureté de cette séparation est proche de 100%. Dans le cas d'un mélange 40%

ABS et 60% PC, le produit ABS a été pollué par des particules de PC, avec une pureté de l'ordre de 95%.

EXEMPLE 2

5

Les résultats de la séparation d'un mélange composé de 50% de PP et de 50% de PC de 125 μm sont montrés sur la figure C. Le chargement et l'introduction du mélange sont identiques à ceux obtenus à l'exemple 1

10

EXEMPLE COMPARATIF 1

Nous avons également réalisé la séparation du mélange de 50% de PP et de 50% de PC dans un séparateur 3 connu de l'art
15 antérieur : il s'agit d'un séparateur 3 tribo-aéro-
électrostatique à disques électrodes 321, 322 (mélange de
couleurs gris clair et gris foncé) (même mélange que
précédemment). Le chargement et la séparation sont réalisés
dans la chambre de séparation 32 du séparateur 3. Le mélange
20 de particules est chargé dans un lit fluidisé et les
particules chargées sont attirées par les disques électrodes
321, 322 qui les évacuent dans leur mouvement de rotation. Ce
séparateur permet une séparation en un régime continu avec un
débit de 10g/s seulement, avec en outre des problèmes
25 d'étanchéité et de récupération à la sortie des électrodes
321, 322. Les résultats de cette séparation ainsi que les
problèmes d'étanchéité et de récupération 35 sont montrés sur
la figure 8.

30 EXEMPLE COMPARATIF 2

Nous avons également réalisé la séparation du mélange de 50% de PP et de 50% de PC dans un séparateur 4 à chute libre (même

mélange que précédemment). La figure 9 illustre les résultats de cette séparation du mélange 50% ABS et 50% PC dans le séparateur 4. Le mélange a été chargé dans un système à vibration et a ensuite été introduit dans le séparateur 4 par une goulotte oscillante. Le séparateur 4 à chute libre ne permet pas de travailler en régime continu et la séparation se dégrade dès que les électrodes 421, 422 sont couvertes de particules.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- [1] Brevet français FR3015312 du CIRAD et de l'INRA.
- 5 [2] Brevet français FR3015311 de l'INRA.
- [3] Demande de brevet français FR2943561 d'APR2 et de l'Université de Poitiers.
- 10 [4] Miloudi, M., Remadnia, M., Dragan, C., Karim, M., Tilmatine, A., Dascalescu, L., Experimental study of the optimum operating conditions of a pilote-scale tribo-aero-electrostatic separator of mixed granular solids. IEEE Trans. Ind. Appl., 49 (2013) 699-706.
- 15 [5] Tilmatine, A., Benabboun, A., Brahmi, Y., Bendaoud, A.; Miloudi, M., Dascalescu, L. Experimental investigation of a new triboelectrostatic separation process for mixed fine granular plastics. IEEE Trans. Ind. Appl., 50 (2014) 4245 -
- 20 4250.
- [6] Zeghloul, T., Mekhalef Benhafssa, A., Richard, G., Medles, K., Dascalescu, L. Effect of particle size on the tribo-aero-electrostatic separation of plastics. J. Electrostat, 88 (2017) 24-28.
- 25 [7] Mekhalef Benhafssa, A., Medles, K., Bouhhoulda, M.F., Tilmatine, A., Messal, S., Dascalescu, L. Study of a tribo-aero-electrostatic separator for mixtures of micronized
- 30 insulating materials, IEEE Trans. Ind. Appl., 51 (2015) 4166-4172.

- [8] Brahami, Y., Tilmatine, A., Bendimerad, S. E., Miloudi, M., Zelmat, M. E.-M., Dascalescu, L., Tribo-aero-electrostatic separation of micronized mixtures of insulating materials using "back-and-forth" moving vertical electrodes. 5 IEEE Trans. DEI, 23 (2016) 699-704.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de séparation électrostatique d'un matériau granulaire (1) comprenant des particules (11, 11a, 11b, 12) présentant un diamètre équivalent compris entre 125 µm et 2 mm, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

A. introduction à débit constant dudit matériau granulaire dans un dispositif (21) de charge permettant de charger lesdites particules (11, 11a, 11b, 12) en fonction de leur nature ; puis charge desdites particules;

B. génération d'un champ électrique E entre deux électrodes cylindriques (221, 222) coaxiales verticales d'axe (OZ) disposées dans une chambre de séparation (22), l'intensité de E variant entre 1 kV/cm et 10 kV/cm,

- les deux électrodes cylindriques (221, 222) se décomposant en une électrode cylindrique intérieure (221) de diamètre extérieur d_{ie} d'axe et une électrode cylindrique extérieure (222) de diamètre intérieur d_{ei} ,

- lesdites électrodes cylindriques (221, 222) étant connectées à un générateur de haute tension continue, l'une desdites électrodes (221) étant reliée à la borne positive dudit générateur et l'autre desdites électrodes (222) étant reliée à sa borne négative ;

- de manière à créer une zone de champ électrique (224) ayant la forme d'une nappe cylindrique d'épaisseur e répondant à la formule (1) :

$$(1) \quad e = (d_{ei} - d_{ie}) / 2$$

- 5 C. génération, par aspiration, dans ladite zone de champ électrique (224), d'un flux d'air vertical descendant (225) perpendiculaire à la direction du champ électrique E et dont l'effet combiné à celui de la gravité permet le transfert en continu desdites particules (11, 11a, 11b, 12) une fois chargées vers ladite zone de champ électrique (224) ;
- 10 D. déplacement desdites particules chargées (11, 11a, 11b, 12) lorsqu'elles se trouvent dans ladite zone de champ électrique (224) vers les électrodes de polarités opposées (221, 222) pour y adhérer ;
- 15 E. détachement en continu, à l'aide de moyens mécaniques de nettoyage (226)) de la surface des électrodes (221, 222), desdites particules (11, 11a, 11b, 12) adhérant à la surface desdites électrodes (221, 222), lesdits moyens mécaniques de nettoyage (226) étant mobiles en rotation
- 20 autour de l'axe central vertical (OZ) des d'électrodes et lesdites électrodes (221, 222) étant fixes, ou inversement ;
- 25 F. évacuation en continu desdites particules (11, 11a, 11b, 12) détachées, sous l'action conjuguée de la pesanteur et dudit flux d'air (225) vertical ; puis
- G. récupération desdites particules (11, 11a, 11b, 12)

30

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel :

- ledit matériau granulaire (1) comprend uniquement des particules non conductrices (11a, 11b), réparties en deux catégories différentes,
- la charge desdites particules (11a, 11b) est réalisée par effet triboélectrique dans un chargeur tribo-électrique (21) communiquant avec ladite chambre de séparation via un répartiteur cône (211).

5

10

3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel :

- ledit matériau granulaire (1) comprend un mélange de particules non conductrices (11) et de particules conductrices (12)
- la charge desdites particules (11, 12) est réalisée dans ladite chambre de séparation (22) par effet de couronne dans un chargeur à effet couronne (21) situé en amont desdites électrodes (221, 222).

15

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'intensité du champ électrique E intense est comprise entre 4 kV/cm et 5 kV/cm.

20

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel les matériaux chargés sont introduites dans la zone de champ électrique (224) sous la forme d'une nappe cylindrique d'épaisseur comprise entre 1 et 5 mm, selon la taille des particules.

25

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel lesdites particules (11, 11a, 11b, 12) à séparer présentent un diamètre compris entre 0,125 mm et 2 mm.

30

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, selon lequel l'étape de récupération F) desdites particules (11, 11a, 11b, 12) est réalisée dans un système collecteur (23), lesdites particules (11, 11a, 11b, 12) étant
5 récupérées dans des compartiments intermédiaires (231, 232) du système collecteur (23), lesdits compartiments intermédiaires étant cylindriques, coaxiaux avec lesdites électrodes (221, 222) et chacune connectées à un aspirateur-cyclone (2250).

10

8. Procédé selon la revendication 7, comprenant en outre une étape de transfert desdites particules (11, 12) des compartiments intermédiaires (231, 232) vers des compartiments terminaux (233, 234) du système collecteur
15 (23), à travers lesdits aspirateurs-cyclones (2250).

9. Dispositif de séparation électrostatique d'un matériau granulaire (1) comprenant des particules (11, 11a, 11b, 12) présentant un diamètre compris entre 125 μm et 2 mm,
20 ledit dispositif comprenant :

- un dispositif (21) pour charger lesdites particules (11, 11a, 11b, 12) à séparer ;
- une chambre de séparation (22) comprenant deux électrodes cylindriques (221, 222) coaxiales
25 verticales d'axe (OZ) se décomposant en
 - une électrode cylindrique intérieure (221) de diamètre extérieur d_{ie} et une électrode cylindrique extérieure (222) de diamètre intérieur d_{ei} ,
 - 30 - lesdites électrodes cylindriques (221, 222) étant connectées à un générateur de haute tension continue, l'une desdites électrodes (221) étant reliée à la borne positive dudit générateur et l'autre desdites électrodes (222) étant reliée

à sa borne négative, de manière à pouvoir générer un champ électrique E,

- des moyens de production (2250) par aspiration, dans ladite chambre de séparation (22), d'un flux d'air vertical descendant (225) perpendiculaire à la direction du champ électrique E,
- des moyens mécaniques de nettoyage (226) de la surface des électrodes (221, 222), lesdits moyens mécaniques de nettoyage (226) étant mobiles en rotation autour de l'axe (OZ) et lesdites électrodes (221, 222) étant fixes ou inversement ; et un dispositif de récupération (23) desdites particules (11, 11a, 11b, 12).

10. Dispositif selon la revendication 9, selon lequel le dispositif de charge (21) est un chargeur tribo-électrique (21) communiquant avec ladite chambre de séparation (22) via un répartiteur à cône (212).

11. Dispositif selon la revendication 9, selon lequel le dispositif de charge (21) est un chargeur à effet couronne situé dans ladite chambre de séparation (22) en amont desdites électrodes (221, 222), l'alimentation en matière dudit dispositif de charge (21) étant réalisée au travers d'un répartiteur à cône (211).

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, selon lequel lesdits moyens mécaniques de nettoyage (226) de la surface des électrodes sont des brosses ou des racleurs.

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, selon lequel les moyens de production (2250) de flux d'air vertical descendant (225) sont des

aspirateurs de type cyclone (2250), permettant en outre la récupération desdites particules (11, 11a, 11b, 12) dans le système collecteur (23).

5 14. Dispositif selon la revendication 13, selon lequel le dispositif de récupération (23) desdites particules (11, 11a, 11b, 12) est un système collecteur de produits (23) comprenant :

- 10 - deux compartiments intermédiaires (231, 232), cylindriques, coaxiaux avec le système d'électrodes (221, 222) et connectés aux aspirateurs-cyclones (2250) ;
- 15 - deux compartiments terminaux (233, 234), vers lesquels lesdites particules (11, 12) sont transférées depuis lesdits compartiments intermédiaires (231, 232), à travers lesdits aspirateurs-cyclones (2250).

20 15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 à 14, comprenant en outre, en amont dudit dispositif de charge (21) un doseur (210) de matériau granulaire (1) apte à en contrôler le débit.

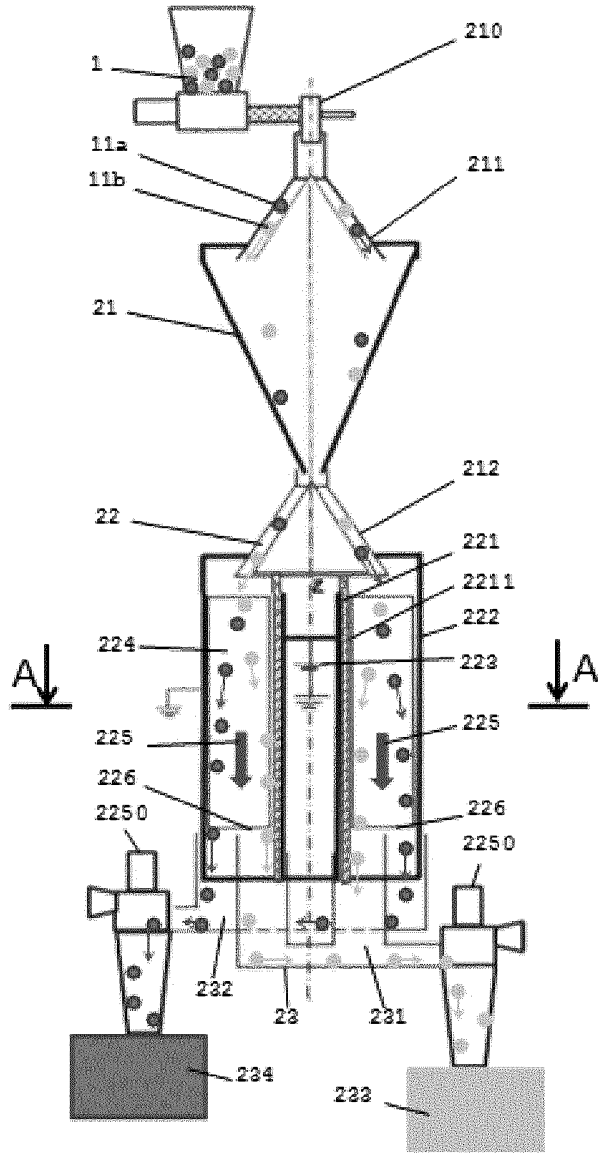


FIG. 1A

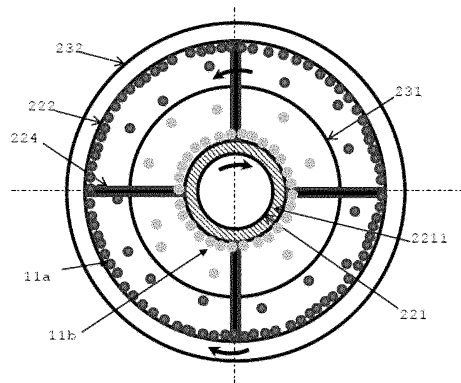


FIG. 1B

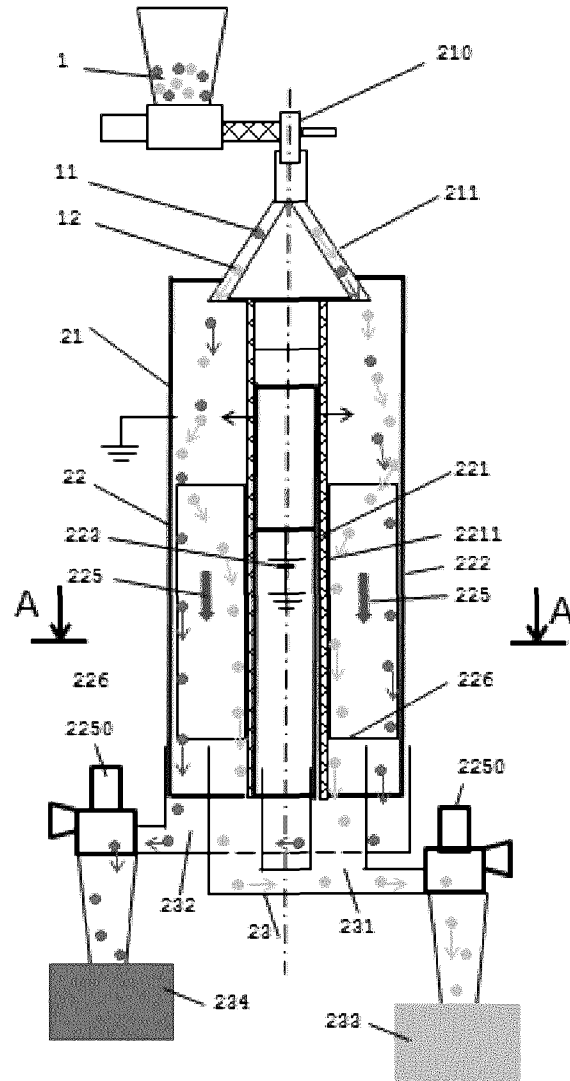


FIG. 2A

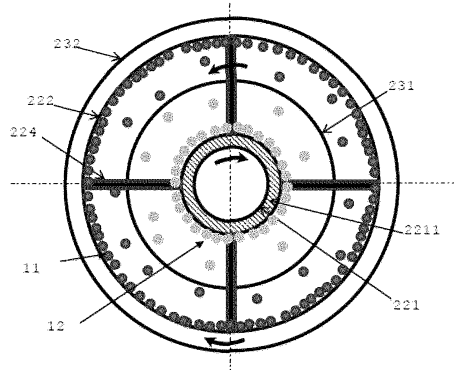


FIG. 2B

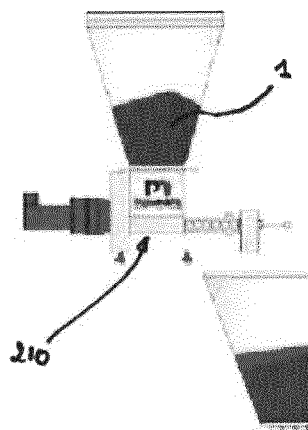


FIG. 3

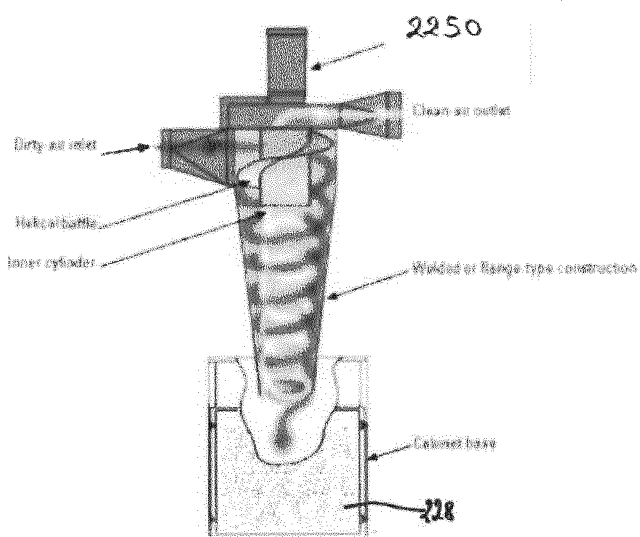


FIG. 4

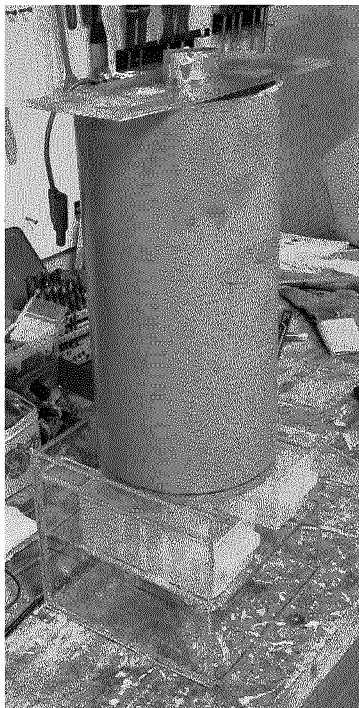
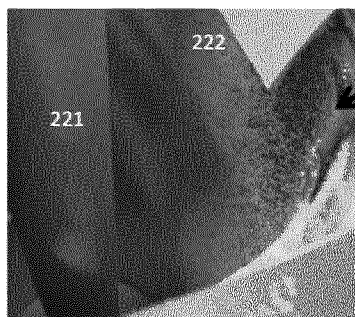


FIG. 5



Connexion vers le
générateur haute tension

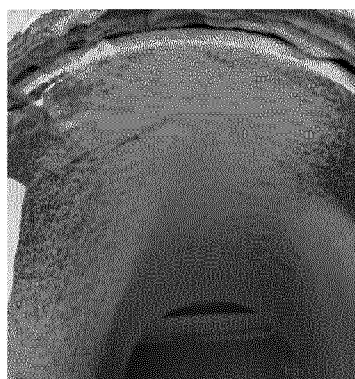


FIG. 6a

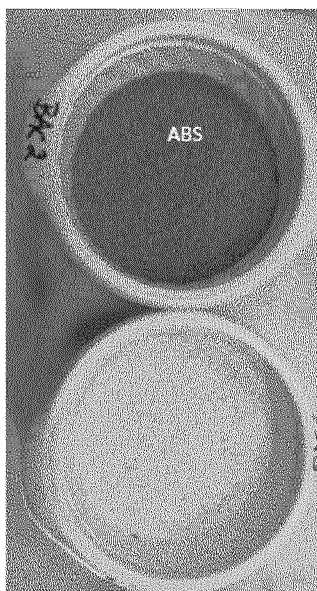


FIG. 6b



FIG. 6c

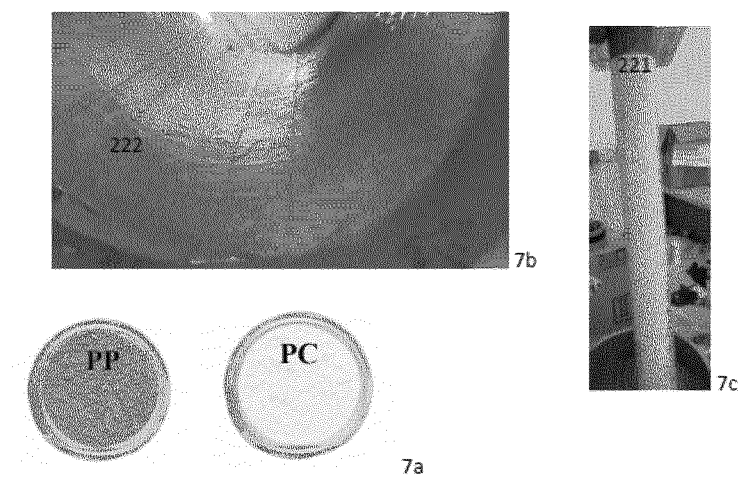


FIG. 7

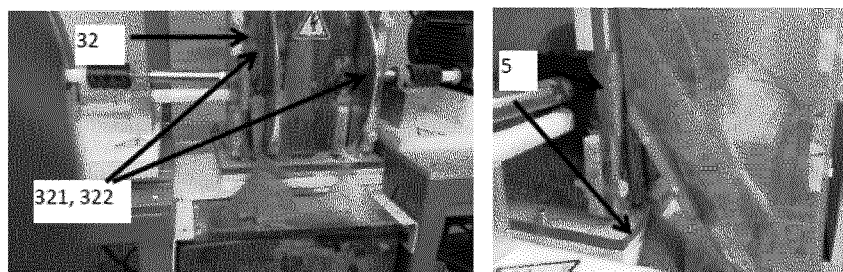


FIG. 8

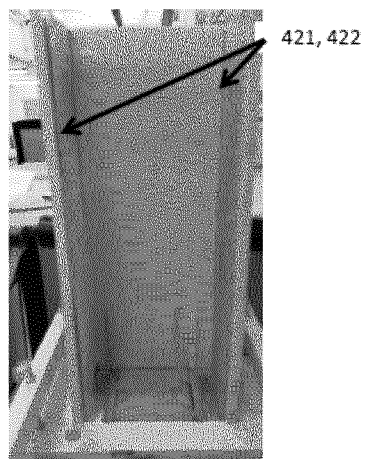


FIG. 9



INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 852011
FR 1851983

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 6 498 313 B1 (STENCEL JOHN M [US] ET AL) 24 décembre 2002 (2002-12-24) * colonne 7, ligne 1 - colonne 12, ligne 55; figures 1-4 *	1-15	B03C3/88
A	----- US 6 064 022 A (JACKSON ARNOLD H [US]) 16 mai 2000 (2000-05-16) * colonne 3, ligne 44 - colonne 7, ligne 24; figures 1-3 *	1-15	
A	----- US 5 251 762 A (TAYLOR JOSEPH B [US] ET AL) 12 octobre 1993 (1993-10-12) * colonne 2, ligne 15 - colonne 4, ligne 43; figures 1-3 *	1-15	
A	----- DE 11 54 052 B (KALI FORSCHUNGSANSTALT GMBH) 12 septembre 1963 (1963-09-12) * colonne 4, ligne 23 - colonne 7, ligne 5; figures 1,2 *	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B03C
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		23 novembre 2018	Skaropoulos, N
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1851983 FA 852011**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 23-11-2018

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6498313	B1	24-12-2002	AUCUN	

US 6064022	A	16-05-2000	AU 752612 B2	26-09-2002
			BR 9907598 A	13-03-2001
			CA 2274280 A1	12-12-1999
			DE 19926951 A1	16-03-2000
			US 6064022 A	16-05-2000
			ZA 9903899 B	22-02-2000

US 5251762	A	12-10-1993	AU 668764 B2	16-05-1996
			BR 9304195 A	06-06-1995
			CA 2107698 A1	06-04-1995
			ES 2071587 A2	16-06-1995
			IT 1262039 B	18-06-1996
			US 5251762 A	12-10-1993
			ZA 9307424 B	27-06-1994

DE 1154052	B	12-09-1963	AUCUN	

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82